

УДК 697.441

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-2-24-36>



## Совершенствование системы водяного капиллярного отопления

А.В. Короянов<sup>1</sup>, О.Н. Зайцев<sup>1</sup>, А.П. Бурцев<sup>1</sup> ✉, А.П. Бурцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ap\_burtsev@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования.** В статье представлены результаты исследования системы водяного отопления на основе стеновых блоков с капиллярными трубками. Эта технология представляет собой систему, в которой теплоноситель (вода) циркулирует через множество капиллярных трубок, которые равномерно встроены в строительные блоки или панели стен и потолков. Такие системы уже используются не только для обогрева, но и для охлаждения помещений, создания комфортного микроклимата. Был проведен анализ исследований подобных систем отопления. Основное преимущество таких систем – их энергоэффективность. Капиллярные системы могут позволить снизить общее потребление систем отопления и, соответственно, эксплуатационные расходы. Однако на данный момент внедрение и использование блоков с капиллярными трубками требует дополнительных исследований и разработок, особенно в части универсализации технологических решений, снижении стоимости материалов и упрощения монтажа. Для получения теоретических результатов была построена модель капиллярной системы, встроеной в стену. Система была разделена на несколько секций, что должно снизить потери давления. Проверена гипотеза о том, что капиллярные системы отопления позволяют обеспечить равномерное распределение тепла при относительно низкой температуре теплоносителя. В работе представлены результаты теплового расчета: график изменения температуры теплоносителя при движении по системе, график изменения давления в системе, картины изменения температуры на поверхности стены. Проведен анализ полученных данных и сделаны выводы об эффективности и целесообразности использования подобных систем. Данная работа может быть использована для дальнейшего исследования систем капиллярного водяного отопления.

**Методы.** Для построения модели стенового блока и проведения теплового расчета была использована программа SolidWorks и встроенный инструмент FlowSimulation.

**Результаты.** Проведенное исследование позволило получить зависимости изменения температуры и давления в капиллярной системе, а также картины изменения температуры на поверхности стены.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что система отопления на основе капиллярных трубок позволяет обеспечить равномерный нагрев поверхности стены, что в свою очередь позволит равномерно прогреть воздух в помещении. Такой результат достигается при низкой температуре теплоносителя. Кроме того, предложенное авторами разделение системы на отдельные секции позволяет снизить потери давления.

**Ключевые слова:** стеновой блок; система отопления; капиллярные трубы; отопление; микроклимат; энергоэффективность; теплоноситель.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Коаксиальное локальное вытяжное устройство / А.В. Короянов, О.Н. Зайцев, А.П. Бурцев, А.П. Бурцев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(2): 24-36. <https://doi.org/10.21869/-2223-1560-2025-29-2-24-36>.

Поступила в редакцию 21.02.2025

Подписана в печать 16.04.2025

Опубликована 23.07.2025

## Improvement of the water capillary heating system

Alexey V. Koroyanov <sup>1</sup>, Oleg N. Zaitsev <sup>1</sup>, Alexey P. Burtsev <sup>1</sup> ✉,  
Alexander P. Burtsev <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University

50 Let Oktyabrya str., 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ap\_burtsev@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** The article presents the results of a study of a water heating system based on wall units with capillary tubes. This technology is a system in which a heat carrier (water) circulates through multiple capillary tubes that are uniformly embedded in building blocks or panels of walls and ceilings. Such systems are already used not only for heating, but also for cooling rooms, creating a comfortable microclimate. An analysis of studies of similar heating systems was carried out. The main advantage of such systems is their energy efficiency. Capillary systems can reduce the overall consumption of heating systems and, consequently, operating costs. However, at the moment, the introduction and use of units with capillary tubes requires additional research and development, especially in terms of universalizing technological solutions, reducing the cost of materials and simplifying installation. To obtain theoretical results, a model of a capillary system embedded in a wall was constructed. The system has been divided into several sections, which should reduce pressure losses. The hypothesis that capillary heating systems can ensure uniform heat distribution at a relatively low temperature of the coolant has been tested. The paper presents the results of a thermal calculation: a graph of changes in the temperature of the coolant when moving through the system, a graph of changes in pressure in the system, and patterns of temperature changes on the wall surface. The analysis of the data obtained was carried out and conclusions were drawn about the effectiveness and expediency of using such systems. This work can be used for further research of capillary water heating systems.

**Methods.** To build a wall block model and perform thermal calculations, the SolidWorks program and the built-in FlowSimulation tool were used.

**Results.** The study made it possible to obtain the dependences of temperature and pressure changes in the capillary system, as well as the pattern of temperature changes on the wall surface.

**Conclusion.** The results of the study showed that the heating system based on capillary tubes allows for uniform heating of the wall surface, which in turn will allow for uniform heating of the indoor air. This result is achieved at a low temperature of the coolant. In addition, the separation of the system into separate sections proposed by the authors makes it possible to reduce pressure losses.

**Keywords:** wall unit; heating system; capillary tubes; heating; microclimate; energy efficiency; heat carrier.

**Conflict of interest.** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Koroyanov A. V., Zaitsev O. N., Burtsev A. P., Burtsev A. P. Improvement of the water capillary heating system. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(2): 24-36 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-2-24-36>.

Received 21.02.2025

Accepted 16.04.2025

Published 23.07.2025

\*\*\*

## Введение

Современному человеку для качественной жизни и работы требуется комфортный микроклимат в помещении. На данный момент основным инженерным решением в РФ является радиаторное отопление<sup>1</sup> [1-3]. Но данный вид отопления имеет ряд недостатков, включая неравномерное распределение тепла и высокие эксплуатационные расходы. Очевидна необходимость инноваций в сфере строительства и систем отопления. В связи с этим, одним из перспективных направлений в совершенствовании систем отопления являются системы капиллярных труб [4, 5].

Капиллярные маты уже применяются для организации системы отопления в различных помещениях. Отечественные авторы проводят исследования, направленные на изучение эффективности применения капиллярных систем водяного отопления [6-9]. Такие системы уже применяются за рубежом [10-14]. Кроме того, капиллярные систе-

мы могут быть использованы не только для обогрева, но и для охлаждения помещений [15-17]. Существуют методы расчета теплопередачи капиллярных систем водяного отопления [18, 19]. Но данный вид отопления требует дополнительных исследований, направленных на повышение его энергоэффективности. Также необходима разработка типовых решений для снижения стоимости монтажа и обслуживания таких систем.

## Материалы и методы

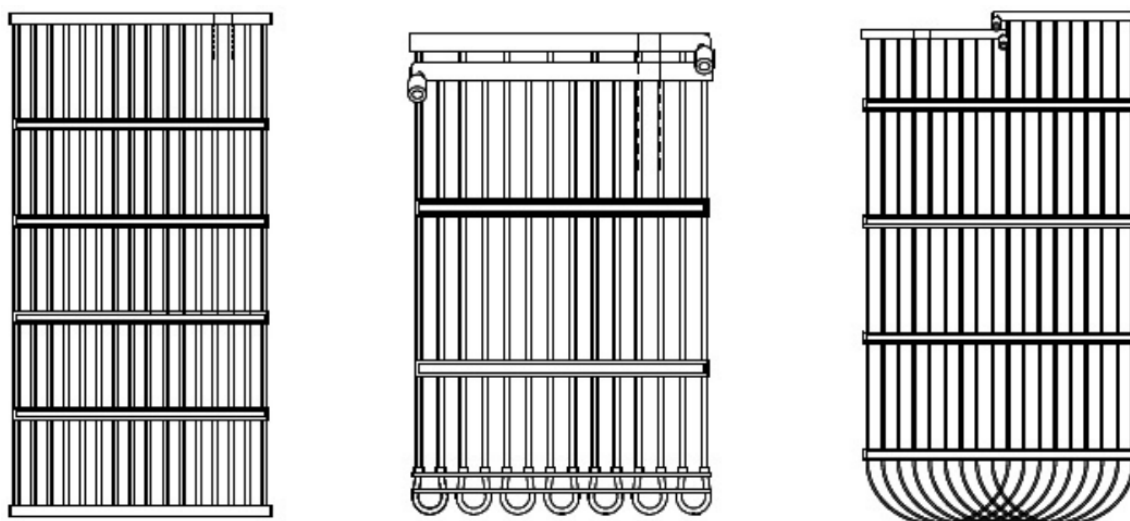
В статье рассмотрен процесс работы стенового блока с капиллярными трубками, выбрана наиболее рациональная конструкция системы капиллярных труб и параметры теплоносителя.

Основные конструкции существующих капиллярных систем отопления представлены на рис. 1.

В качестве основы для создания модели системы капиллярных труб была выбрана первая из представленных на рис. 1. Модель позволяет на стадии проектирования получить представление о работе системы, внести изменения в конструкцию для получения максимально эффективного решения.

---

<sup>1</sup> Бурцев А. П. Комплексная утилизация теплоты сбросных газов и вентиляционных выбросов в многослойном пластинчатом рекуператоре: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2023. 202 с.



**Рис. 1.** Типовые конструкции стеновых блоков с капиллярными трубками

**Fig. 1.** Typical designs of wall blocks with capillary tubes

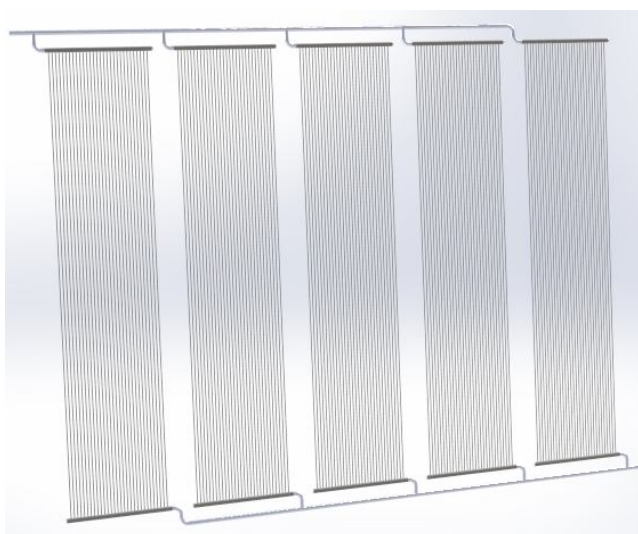
В данной работе модель стенового блока выполнена в среде SolidWorks. Графики и картины на поверхности стены были получены с помощью встроенного вычислительного инструмента Flow Simulation.

### Результаты и их обсуждение

Была построена модель системы капиллярных трубок, представленная на рис. 2. Данная система состоит из пяти

секций капилляров, каждая из которых включает в себя 30 капиллярных трубок длиной 2 метра. Расстояние между капиллярами – 15 мм. Секции между собой соединены двумя коллекторами. В качестве материала данной системы выбран полипропилен.

Внешний диаметр капиллярных трубок составляет 4,3 мм, толщина стенок – 0,8 мм. Внешний диаметр коллекторов – 20 мм, толщина стенок – 2 мм.



**Рис. 2.** Система капиллярных трубок

**Fig. 2.** Capillary tube system

Далее с помощью инструмента Flow Simulation был произведен тепловой расчет полученной системы. В качестве граничных условий для расчета были заданы следующие:

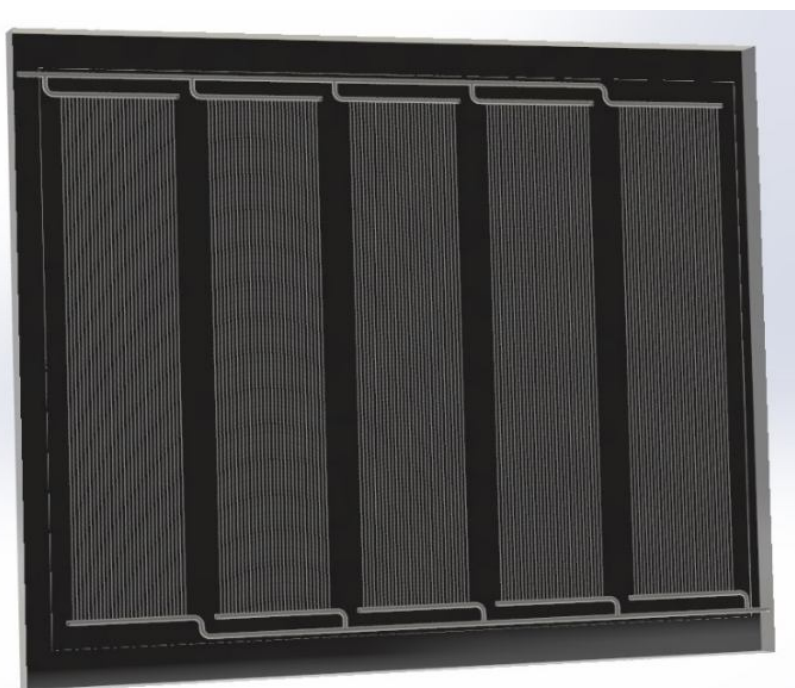
- температура теплоносителя (воды) на входе:  $+35^{\circ}\text{C}$ ;
- объемный расход теплоносителя (воды) на входе: 50 л/ч;

– статическое давление на выходе: 3 атм.

Рассмотрим результаты расчетов.

Разбиение капиллярных трубок на секции должно снизить потери давления в системе.

Полученная конструкция была помещена в модель стены. На рис. 3 представлена полученная сборка в разрезе.



**Рис. 3.** Стеновой блок с системой капиллярных трубок (разрез)

**Fig. 3.** Wall block with a capillary tube system (section)

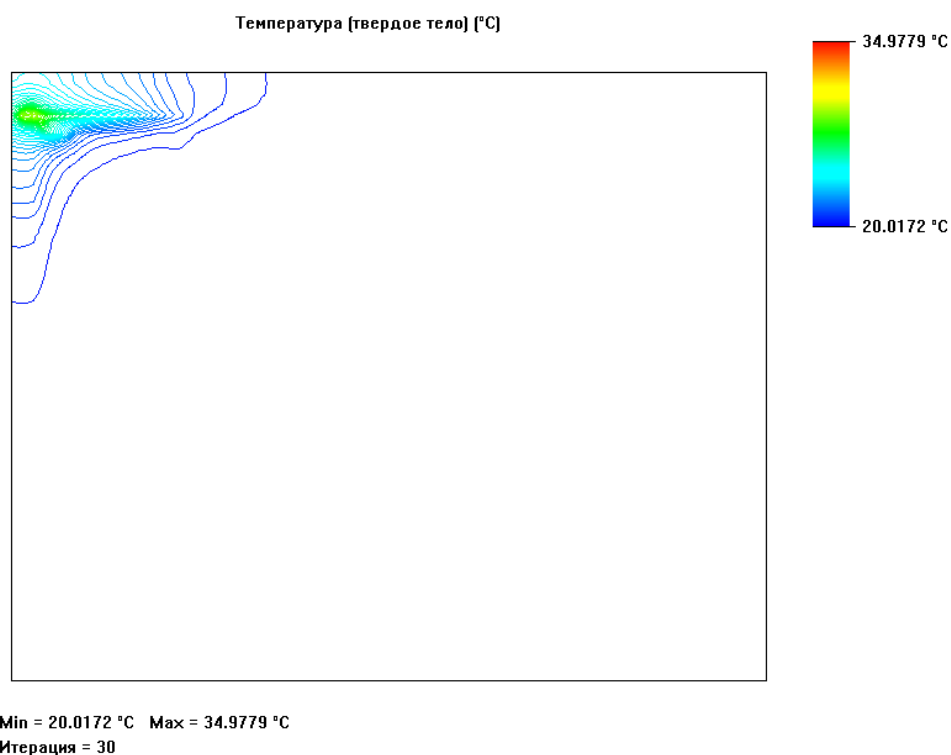
На рис. 4-7 представлены картины на поверхности стены (изолинии) на разных этапах заполнения системы теплоносителем и ее нагрева. Результаты показывают, что средняя температура поверхности стены составляет  $27^{\circ}\text{C}$ . Разница между наиболее и наименее нагретыми зонами составляет не более  $2^{\circ}\text{C}$ . Полученные результаты подтверждают тезис о том, что капиллярные системы отопления

позволяют обеспечить равномерный нагрев поверхности.

На рис. 8 изображен график изменения давления в системе.

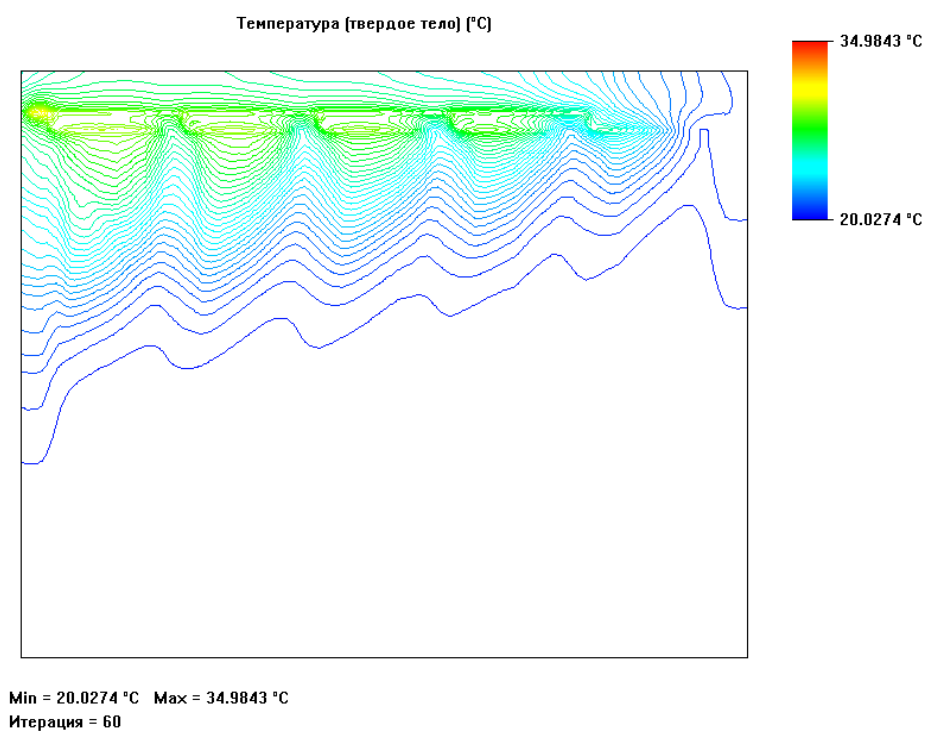
На рис. 9 представлен график изменения температуры теплоносителя при движении по системе.

Из графика можно сделать вывод, что разница температуры теплоносителя на входе и выходе составляет примерно  $2,5^{\circ}\text{C}$ .



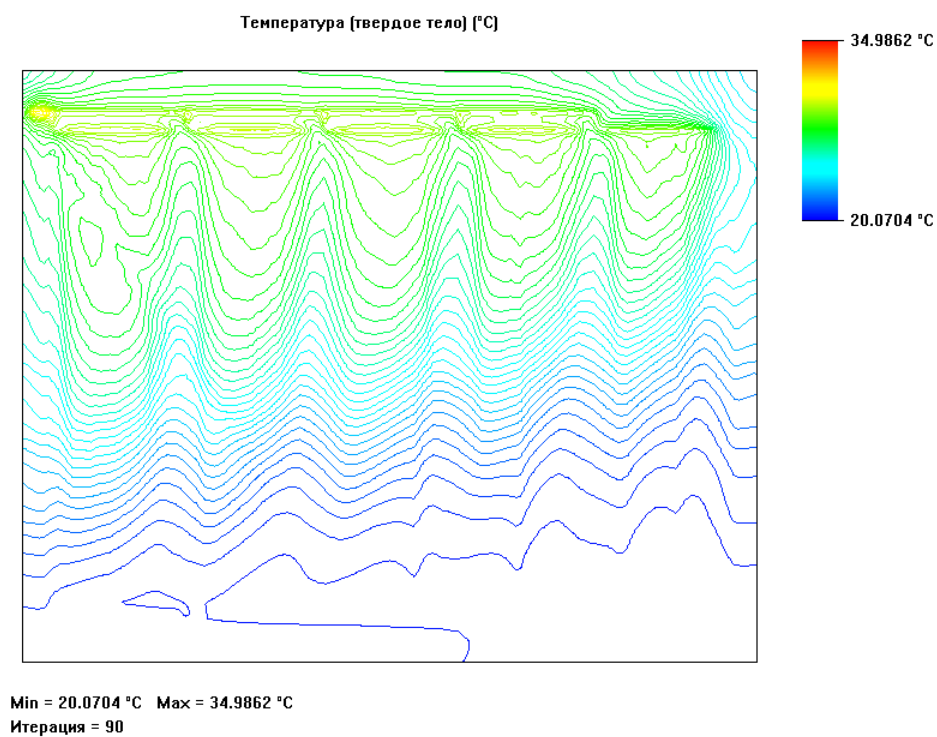
**Рис. 4.** Температура на поверхности стены

**Fig. 4.** Temperature on the wall surface



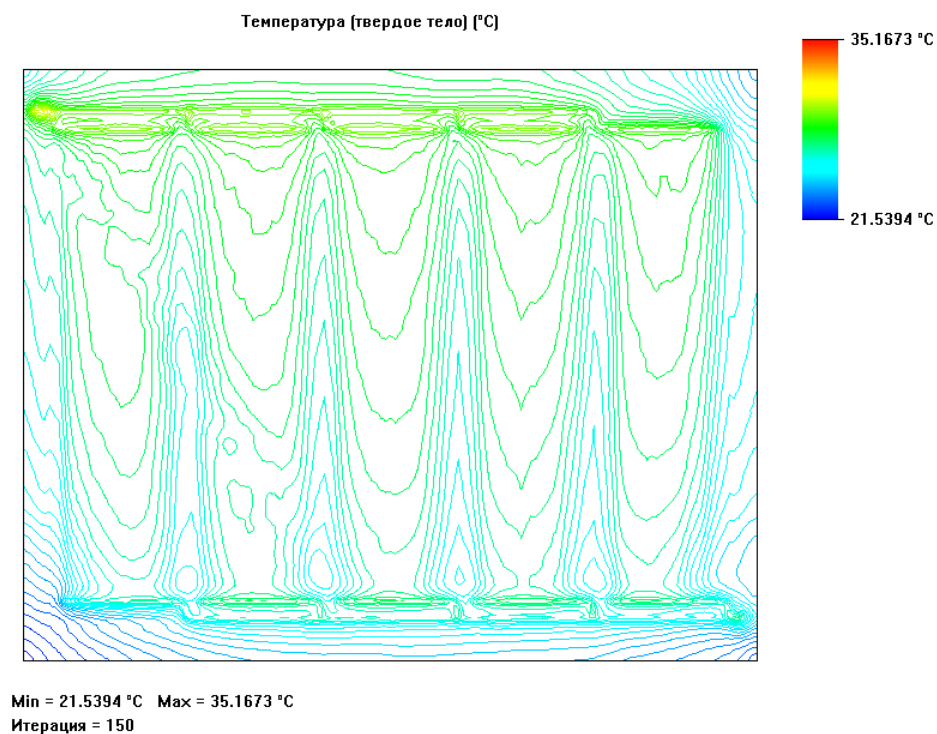
**Рис. 5.** Температура на поверхности стены

**Fig. 5.** Temperature on the wall surface



**Рис. 6.** Температура на поверхности стены

**Fig. 6.** Temperature on the wall surface



**Рис. 7.** Температура на поверхности стены

**Fig. 7.** Temperature on the wall surface

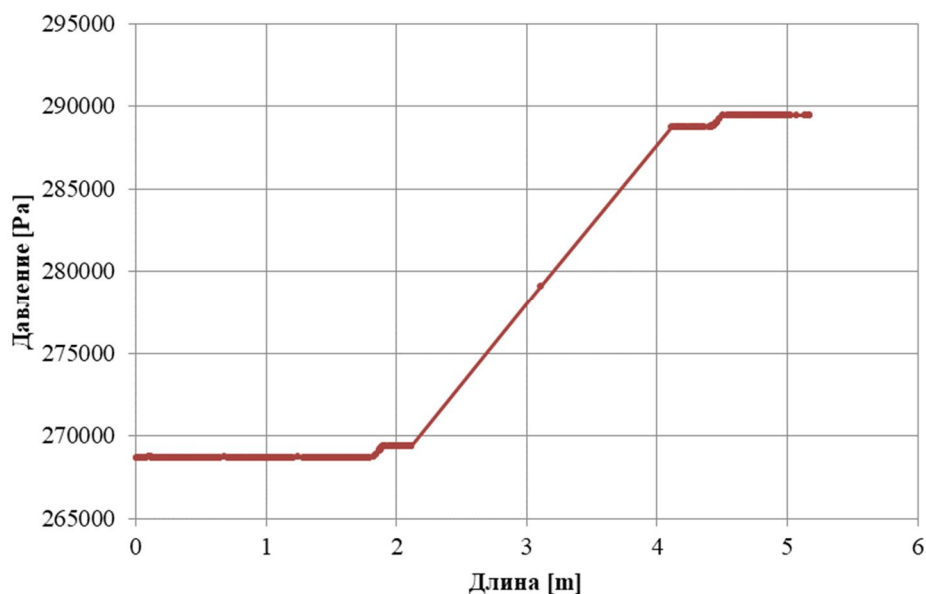


Рис. 8. График изменения давления

Fig. 8 Pressure change graph

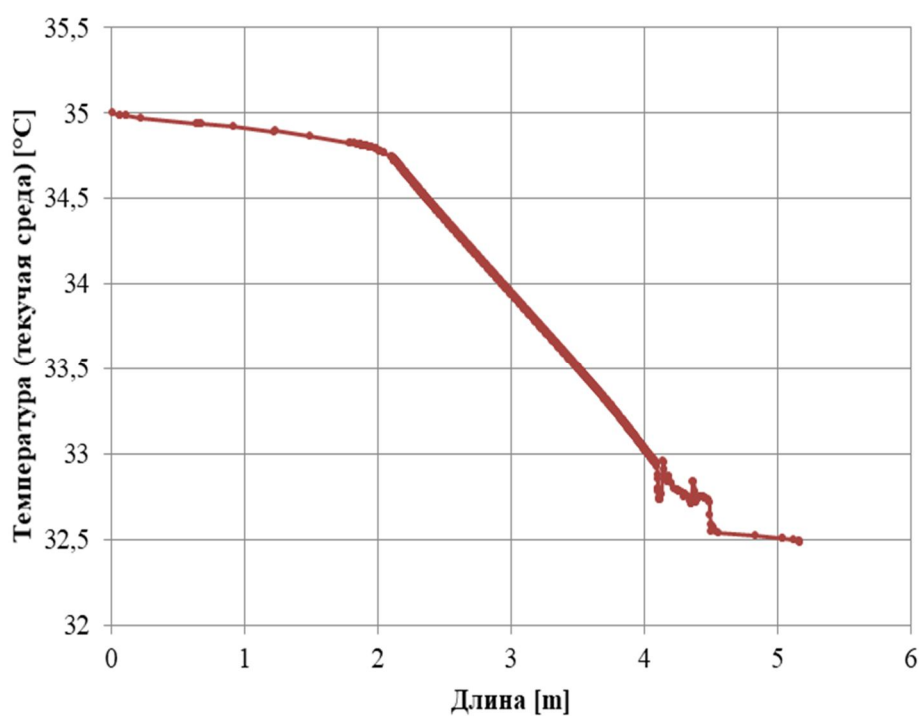


Рис. 9. График изменения температуры

Fig. 9. Temperature change graph

## Выводы

В ходе исследования была разработана модель стенового блока с капилляр-

ными трубками и произведен ее тепловой расчет.

Результаты подтверждают тезис о том, что подобные конструкции позво-

ляют создавать низкотемпературные системы отопления. Обеспечивается равномерный прогрев поверхности, в которую встроены капиллярные трубки, что позволяет создавать комфортный тепло-

вой баланс в помещении и более точно регулировать температуру.

Данный вид систем отопления является перспективным и требует дальнейших исследований для повышения его эффективности.

### Список литературы

1. Ландырев С.С. Распределение температуры в помещениях различной высоты с радиаторной системой отопления в различных районах РФ // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 12(768). С. 38-48.
2. Дадашева К.А., Пенявский В.В. Сравнение технико-экономических показателей систем настенного и радиаторного отопления // Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21–25 сентября 2020 г. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 511-512.
3. Жилина К. В., Тютюнов Д. Н., Бурцев А. П. Один из вариантов управления системой теплоснабжения зданий и сооружений с применением методов математического анализа // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №2. С. 56-70. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-2-56-70>
4. Исследование аэродинамических параметров воздухораспределителей при взаимодействии круглых несоосных струй / О.Н. Зайцев, Н.Е. Семичева, А.П. Бурцев, Е.О. Зайцева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 119-130. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-119-130>.
5. Корепанов А.С., Шавкунов М.Л., Гаврилов Р.И. Исследование низкотемпературных систем обогрева помещений // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, 16–17 декабря 2021 г. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 305-309.
6. Основные проблемы применения низкотемпературных систем / Д.И. Вишневский, С.Д. Володин, Н.А. Гончарова, Р.В. Дубоенко // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 18–23 апреля 2022 г. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. С. 273-275.
7. Захаров Н.И., Афонина Г. Н. Исследование теплообмена в помещении при использовании капиллярных матов в качестве отопительной системы // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 г. М.:

Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг" РАДУГА", 2020. С. 659.

8. Исследование работы потолочно-капиллярной системы отопления / А.В. Шишкин, С.А. Зенин, П.В. Мешалова, Н.А. Белехова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов Двадцать восьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 17–19 марта 2022 г. М.: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг "РАДУГА", 2022. С. 546.

9. Жгун Ю.В. Опыт применения капиллярных матов в Германии для повышения энергетической эффективности и обеспечения необходимого микроклимата зданий // Студенческий вестник. 2020. № 3-5(101). С. 59-61.

10. Широков В.А., Исанова А.В., Авдеева Н.Ю. Энергоэффективные системы обеспечения микроклимата зданий на основе использования холодных потолков // Студент и наука. 2023. № 1(24). С. 113-117.

11. Комплексный анализ функционирования системы теплоснабжения зданий путем применения математических методов и алгоритмов регулирования тепловых потоков / А. П. Бурцев, А. П. Бурцев, В. Е. Пахомов, М. В. Мурзина // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2024. № 10(1082). С. 57-59.

12. Исследование моделей и структурных схем автоматизации управления системой теплоснабжения здания / А. П. Бурцев, А. П. Бурцев, В. Е. Пахомов, М. В. Мурзина // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2024. № 10(1082). С. 51-53.

13. Попова А.Ю., Попов С.А. Особенности системы кондиционирования холодный потолок // Образование. Наука. Производство: сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 г. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 155-157.

14. Жуликов А.А., Мартынов В.В. Принцип работы и виды монтажа холодных потолков // Интернаука. 2022. № 47-4(270). С. 9-11.

15. Трошкин К.А., Драбкина Е.В. Система «холодные потолки» для кондиционирования частного дома // Поколение будущего: сборник избранных статей Международной студенческой научной конференции, Санкт-Петербург, 30 сентября 2021 г. СПб.: Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. С. 74-79.

16. One of the Options for Using an Integrated Air Heater in Heat Supply Systems / A. Burtsev, D. Tyutyunov, A. Burtsev, P. Akulshina // Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2022. Kursk: Springer Nature Switzerland AG, 2024. P. 183-191.

17. Разработка методики для расчета теплопередачи потолочных водяных капиллярных систем низкотемпературного отопления / А.В. Шишкин, П.В. Мешалова, Ю.В. Яворовский, Е.В. Жигулина // Энергетические системы. 2022. № 2. С. 29-40.

18. Integrated Heat Recovery of Waste Gases and Ventilation Emissions in a Multilayer Plate Heat Exchanger / A. Burtsev, V. Yezhov, N. Semicheva [et al.] // Modern Problems in

Construction: Selected Papers from MPC 2022. Kursk: Springer Nature Switzerland AG, 2024. P. 1-8.

19. Использование комплексного многослойного пластинчатого рекуператора для утилизации теплоты вентиляционных выбросов / А. П. Бурцев, В. С. Ежов, Н. Е. Семичева, Н. С. Перепелица // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2023. № 4(54). С. 54-58.

## References

1. Landyrev S.S. Temperature distribution in rooms of various heights with a radiator heating system in various regions of the Russian Federation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2022; (12): 38-48 (In Russ.).

2. Dadasheva K.A., Penyavsky V.V. Comparison of technical and economic indicators of wall-mounted and radiator heating systems. In: *Izbrannye doklady 66-i Universitetskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchennykh = Selected reports of the 66th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*, Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. P. 511-512. (In Russ.).

3. Zhilina K. V., Tyutyunov D. N., Burtsev A. P. One of the options for managing the heat supply system of buildings and structures using mathematical analysis methods. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(2): 56-70 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-2-56-70>.

4. Zaitsev O.N., Semicheva N.E., Burtsev A.P., Zaitseva E.O. Study of aerodynamic parameters of air distributors during interaction of round non-coaxial jets. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 119-130 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-119-130>.

5. Korepanov A.S., Shavkunov M.L., Gavrilov R.I. Research of low-temperature room heating systems. In: *Razvitie proizvodstva i rol' agroinzhenernoi nauki v sovremennom mire. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Production development and the role of agroengineering science in the modern world. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya; 2021. P. 305-309. (In Russ.).

6. Vishnevsky D.I., Volodin S.D., Goncharova N.A., Duboenko R.V. The main problems of using low-temperature systems. In: *Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoi bezopasnosti. Materialy IX Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh issledovatelei = Actual problems of construction, housing and communal services and technosphere safety. Proceedings of the IX All-Russian (with international participation) Scientific and Technical Conference of young researchers*. Volgograd: Volgograd State Technical University; 2022. P. 273-275. (In Russ.).

7. Zakharov N.I., Afonina G. N. Investigation of heat exchange in a room using capillary mats as a heating system. In: *Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika. Tezisy dokladov* = *Radio electronics, electrical engineering and power engineering. Abstracts of reports*, Moscow: Center of printing services "RADUGA"; 2020. P. 659. (In Russ.).

8. Shishkin A.V., Zenin S.A., Meshalova P.V., Belekova N.A. Investigation of the ceiling-capillary heating system. In: *Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika. Tezisy dokladov Dvadsat' vos'moi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i aspirantov* = *Radioelectronics, electrical engineering and power engineering. Abstracts of the Twenty-eighth International Scientific and Technical Conference of Students and post-graduates*. Moscow: Center of printing services "RADUGA"; 2022. P. 546. (In Russ.).

9. Zhgun Yu.V. The experience of using capillary mats in Germany to increase energy efficiency and ensure the necessary microclimate of buildings. *Studencheskii vestnik* = *Student Bulletin*. 2020; (3-5): 59-61. (In Russ.).

10. Shirokov V.A., Isanova A.V., Avdeeva N.Yu. Energy-efficient systems for providing microclimate of buildings based on the use of cold ceilings. *Student i nauka* = *Student and Science*. 2023; (1): 113-117. (In Russ.).

11. Burtsev A. P., Burtsev A. P., Pakhomov V. E., Murzina M. V. Comprehensive analysis of the functioning of the building heat supply system by applying mathematical methods and algorithms for regulating heat flows. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki* = *BST: Bulletin of Construction Machinery*. 2024; (10): 57-59. (In Russ.).

12. Burtsev A. P., Burtsev A. P., Pakhomov V. E., Murzina M. V. Research of models and structural schemes of automation of building heat supply system control. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki* = *BST: Bulletin of construction machinery*. 2024; (10): 51-53. (In Russ.).

13. Popova A.Yu., Popov S.A. Features of the cold ceiling air conditioning system. In: *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma* = *Education. Science. Production. Collection of reports of the XV International Youth Forum*. Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova; 2023. P. 155-157 (In Russ.).

14. Zhulikov A.A., Martynov V.V. The principle of operation and types of installation of cold ceilings. *Internauka*. 2022; (47-4): 9-11. (In Russ.).

15. Troshkin K.A., Drabkina E.V. The "cold ceilings" system for air conditioning in a private house. In: *Pokolenie budushchego: sbornik izbrannykh statei Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii* = *Generation of the future. Collection of selected articles of the International Student Scientific Conference*. St. Petersburg; 2021. P. 74-79. (In Russ.).

16. Burtsev A., Tyutyunov D., Burtsev A., Akulshina P. One of the Options for Using an Integrated Air Heater in Heat Supply Systems. *Modern Problems in Construction : Selected Papers from MPC 2022*. Kursk; 2024. P. 183-191.

17. Shishkin A.V., Meshalova P.V., Yavorovsky Yu.V., Zhigulina E.V. Development of a methodology for calculating heat transfer of ceiling water capillary low-temperature heating systems. *Energeticheskie sistem = Energy systems*. 2022; (2): 29-40. (In Russ.).

18. Burtsev A., Yezhov V., Semicheva N., et al. Integrated Heat Recovery of Waste Gases and Ventilation Emissions in a Multilayer Plate Heat Exchanger. *Modern Problems in Construction: Selected Papers from MPC 2022*. Kursk; 2024. P. 1-8.

19. Burtsev A. P., Yezhov V. S., Semicheva N. E., Perepelitsa N. S. The use of an integrated multilayer plate heat exchanger for the utilization of heat from ventilation emissions. *Nauchnyi zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya = Scientific Journal. Engineering systems and structures*. 2023; (4): 54-58. (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Короянов Алексей Викторович**, аспирант кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: koroyanov.lescha46@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2104-6725>

**Alexey V. Koroyanov**, Post-Graduate Student of Infrastructural Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: koroyanov.lescha46@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2104-6725>

**Зайцев Олег Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: zon071941@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9084-9355>, ScopusID: 57198778856

**Oleg N. Zaitsev**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Infrastructure Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: zon071941@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9084-9355>, ScopusID: 57198778856

**Бурцев Алексей Петрович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ap\_burtsev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-960X>, ScopusID: 57090197100

**Alexey P. Burtsev**, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Lecturer of the Infrastructure Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ap\_burtsev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-960X>, ScopusID: 57090197100

**Бурцев Александр Петрович**, аспирант кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: burtsev-999@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2158-2244>, ScopusID: 58321162900

**Alexander P. Burtsev**, Post-Graduate Student of Infrastructural Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: burtsev-999@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2158-2244>, ScopusID: 58321162900